

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут"

РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ СОНЯЧНОГО ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Методичні рекомендації
до виконання домашньої контрольної роботи
для студентів спеціальності 101 «Екологія»
спеціалізація «Інженерна екологія та ресурсозбереження»

Київ
НТУУ «КПІ»
2016

Розрахунок системи сонячного гарячого водопостачання [Текст]: метод. рек. до викон. домашньої контрольної роботи для студ. спеціальності 101 «Екологія» спеціалізації «Інженерна екологія та ресурсозбереження» /Уклад: В.В.Дубровська, В.І. Шкляр – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

Рекомендовано вченою радою
Інституту енергозбереження та енергоменеджменту,
НТУУ „КПІ”
(Протокол № 10 від 28 березня 2016 р.)

Навчальне електронне видання

Розрахунок системи сонячного гарячого водопостачання

Методичні рекомендації
до виконання домашньої контрольної роботи
для студентів спеціальності 101 «Екологія»
спеціалізації «Інженерна екологія та ресурсозбереження»

Укладачі: В.В. Дубровська, канд. техн. наук, доц.
В.І. Шкляр, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний
редактор В.В. Задвернюк, ст. викладач

Рецензент А.М. Ковальчук, канд. техн. наук, доц.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 Мета домашньої контрольної роботи.....	5
2 Завдання на домашню контрольну роботу.....	5
3 Порядок виконання та оформлення завдання.....	5
4 Методичні вказівки до виконання роботи.....	6
4.1 Використання сонячної енергії.....	6
4.2 Системи активного сонячного теплопостачання.....	8
4.3 Ступінь заміщення палива.....	13
4.4 Розрахунок систем сонячного теплопостачання.....	15
4.5 Розрахунок економічної доцільності використання систем сонячного гарячого водопостачання.....	18
4.6 Розрахунок зменшення шкідливих викидів при використанні сонячної установки.....	20
4.7 Висновки по роботі.....	21
5 Послідовність виконання розрахунків.....	22
Список рекомендованої літератури.....	25
ДОДАТКИ.....	26

Вступ

З кожним роком загострюються питання пов'язані з подальшими шляхами розвитку енергетики. З однієї сторони, зростання населення, прагнення до підвищення життєвого рівня людей диктують доцільність нарощування потужностей енергетики, і в першу чергу електроенергетики, причому просто гігантськими темпами; з іншої сторони, виникнення екологічних проблем та вичерпання природних джерел сировини (особливо нафти і газу), потребує більш економічного і раціонального використання отриманої енергії і потенційної енергії її джерел.

В багатьох промислово розвинених країнах, де резерви власного органічного палива сильно вичерпані або їх немає, і енергетика яких базується, сьогодні, на імпорتنих поставках, питання використання нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії стають все більш актуальними, активно ведуться роботи по їх застосуванню в енергетиці.

Енергія Сонця використовується для нагрівання води, повітря, в дистилляторах, зерносушарках, або для обігріву чи охолодження приміщень. Нагрівання води в сонячних нагрівальних системах здійснюється приймачем, в якому відбувається поглинання сонячного випромінювання і передача енергії рідині.

В Україні зараз розвиваються два напрямки використання сонячної енергії, які пов'язані з отриманням теплоти для гарячого водопостачання (ГВП) та опалення. Загальна кількість подібних установок досягає 5 млн., причому більше половини з них установки малої продуктивності (менше 500 літрів на день) для індивідуальних споживачів [1].

Важливим показником при визначенні ефективності роботи сонячного колектора є розрахунок частки навантаження гарячого водопостачання, яке забезпечується за рахунок сонячної енергії (коефіцієнта заміщення палива) [2-3].

Методичні рекомендації до виконання домашньої контрольної роботи з дисципліни «Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії» призначені для студентів денної форми навчання спеціальності 101 «Екологія» спеціалізації «Інженерна екологія та ресурсозбереження».

1 МЕТА ДОМАШНЬОЇ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Метою роботи є визначення площі поверхні сонячного колектора (СК), об'єму бака-акумулятора, річної економії традиційного палива, строку окупності та зменшення шкідливих викидів при використанні сонячної енергії в системі гарячого водопостачання об'єкту.

2 ЗАВДАННЯ НА ДОМАШНЮ КОНТРОЛЬНУ РОБОТУ

В домашній контрольній роботі пропонується провести розрахунок сонячної водонагрівальної установки в заданому місті. Добове споживання гарячої води N , [л/день] на одну особу, якщо кількість людей m . Температура гарячої води $t_{гв}$ [$^{\circ}\text{C}$], а холодної $t_{хв}$ [$^{\circ}\text{C}$]. Частка сонячної енергії в покритті теплового навантаження f . Нижча теплота згорання палива Q_H^P [кДж/кг], к.к.д. теплогенератора $\eta_{тг}$.

Знайти площу A [м^2] поверхні СК, об'єм $V_{ба}$ [м^3] бака-акумулятора аналітично і за номограмою, враховуючи кут нахилу β СК до горизонту, річну економію палива B та строк окупності $\tau_{ок}$ геліосистеми. Розрахувати зменшення викидів забруднюючих речовин за рахунок економії палива.

Вихідні дані для розрахунку наведено в табл. Д1.

3 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗАВДАННЯ

Домашня контрольна робота складається з наступних розділів:

1. Розрахунок площі поверхні СК та об'єму бака-акумулятора аналітичним методом.
2. Визначення площі поверхні СК та об'єму бака-акумулятора за номограмою фірми SintSolar [3].

3. Розрахунок річної економії традиційного палива.
4. Розрахунок строку окупності геліосистеми.
5. Розрахунок зменшення шкідливих викидів.
6. Висновки по роботі.

Пояснювальна записка до домашньої контрольної роботи повинна бути виконана на аркушах А4 і супроводжуватись відповідними рисунками та поясненнями до них.

4 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1 Використання сонячної енергії

За оцінкою експертів при нинішніх обсягах видобутку вугілля на Землі вистачить років на 400-500, а нафти і газу - максимум на сторіччя. Тому освоєння екологічно чистих, поновлюваних джерел енергії є актуальним завданням сучасності. Для України використання енергії Сонця – це перспективний напрямок скорочення використання органічного палива.

Енергія Сонця невичерпна, безкоштовна і більш екологічна, ніж будь-який з доступних людині видів енергії.

Існує п'ять основних способів використання сонячної енергії:

- тепловий - полягає в підігріві повітря, води або матеріалів (сушка);
- фотоелектричний - полягає в перетворенні енергії сонячних променів в електричну енергію;
- біологічний - ґрунтується на здатності рослин шляхом фотосинтезу перетворювати сонячну енергію в хімічну;
- хімічний - полягає в використанні процесів розкладання і синтезу речовин під дією сонячних променів (розкладання води на водень і кисень);
- прямий - для освітлення (вікна з жалюзі, світловий ліхтар, спеціальне скління).

ня, світловий люк, колектор з розподільним світловодом.

Перетворення сонячної енергії в теплову забезпечується **системами сонячного теплопостачання**:

- **системи активного сонячного теплопостачання**, в яких використовуються так звані активні установки на основі сонячних колекторів з циркуляцією теплоносія;
- **системи пасивного сонячного теплопостачання**, в яких різні конструкційні елементи і матеріали використовують як теплоприймачі;
- **комбіновані системи сонячного теплопостачання**.

У Європі лідерами по впровадженню систем сонячного теплопостачання на базі колекторів є Німеччина, Швеція, Австрія, Швейцарія. За своїми кліматичними умовами Україна відноситься до територій із середньою інтенсивністю сонячної радіації. Середньорічний потенціал сонячної енергії в Україні ($1235 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$) є досить високим і набагато вище, ніж, наприклад, в Німеччині - $1000 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$ або навіть в Польщі - $1080 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$. За рівнем інтенсивності сонячного випромінювання можна виділити чотири регіони - Центральний, Західний, Південно-Східний і Південний. Залежно від регіону, рівень сонячної радіації, що припадає на 1 м^2 , становить до $1000\text{-}1350 \text{ кВт} / (\text{рік} \cdot \text{м}^2)$. Провівши паралелі з країнами, які мають той же рівень величини сонячної радіації, можна зробити висновок, що в міжсезоння сонячні колектори можуть забезпечувати до 50%, а в літні місяці - до 90% гарячого водопостачання приватного будинку (рис. 1). Термін «ефективне використання» означає, що геліоустановка може працювати з віддачею в 50% і більше, а це 9 місяців в південних областях України (з березня по листопад), і 7 місяців - у північних областях (з квітня по жовтень). Взимку ефективність роботи установки падає, але не зникає та покриває 15 - 20% потреби в теплоті системи ГВП. Для країн, в яких нагрівання гарячої води проводиться в основному за допомогою електричної енергії, сонячні колектори дозволяють істотно знизити пікові навантаження в електросистемах. У той же час, висока ефективність сонячних колекторів ГВП дозволяє їх ефективно використовувати в комбінованих системах, в яких для підігріву води ви-

користовується електроенергія або обладнання на газовому, рідкому або твердому паливі, оскільки в цьому випадку витрати на електроенергію і паливо різко знижуються.

Відзначимо, що в усьому світі зараз працює понад 180 млн. м² сонячних колекторів, які забезпечують теплопостачання споживачів.

Найбільш сприятливий період в Україні для використання сонячної енергії в геліосистемах - квітень - вересень. Середньорічна кількість, годин сонячного сяяння зростає в Україні з північного заходу на південний схід і південь з 1700 до 2400 год. Мінімальна тривалість - у Поліссі (1700-1800 год на рік), максимальна - на південних схилах Кримських гір (понад 2400 год).



Рис. 1 Сонячні колектори на даху приватного будинку.

Використання сонячного випромінювання для теплопостачання пов'язано зі значними капітальними витратами, і чим вище потенціал одержуваної енергії, тим більше її вартість.

4.2 Системи активного сонячного теплопостачання

Активні системи сонячного теплопостачання класифікуються за наступними ознаками:

- за призначенням: системи ГВП, опалення, комбіновані системи;
- за часом роботи протягом року: сезонні, цілорічні;
- за ступенем охоплення споживачів: індивідуальні, групові і централізовані;
- за числом контурів: одно-, дво- і багатоконтурні;

- по наявності і типу дублюючого джерела.

Основним елементом систем активного теплопостачання є **сонячний колектор** в якому відбувається поглинання сонячного випромінювання і передача енергії теплоносію. Колектори були розроблені більше 200 років тому. Існує безліч різних конструкцій (рис.2) і технологій, які дозволяють отримувати тепловий потік в сонячні дні до 1200 Вт / м^2 , а в похмурі – до 400 Вт / м^2 .

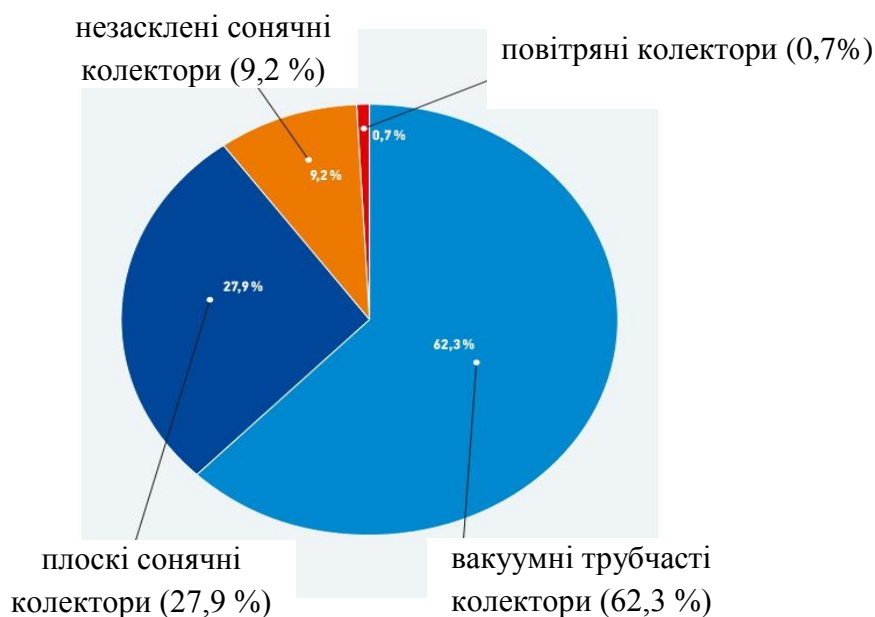


Рис. 2 Структура площин різних типів сонячних колекторів у світі.

Геліоколектори поділяються на плоскі і фокусуючі.

Плоскі сонячні колектори є найбільш поширеним типом сонячних колекторів. Вони дозволяють збирати як пряме, так і розсіяне випромінювання і в силу цього здатні працювати також і в хмарну погоду. Плоский колектор був виготовлений у 1767 році швейцарським вченим Горацієм де Соссюр. В результаті тривалого вдосконалення колектори даного типу, мабуть, практично досягли найбільш оптимальних показників по ефективності, терміну експлуатації та вартості.

Плоскі геліоколектори діляться на прості, що містять весь об'єм теплоносія, і проточні, що нагрівають за певний час тільки невелику кількість теплоносія, який потім, як правило, накопичується в окремому резервуарі.

На рис. 3 наведені різні варіанти приймачів сонячного випромінювання [4].

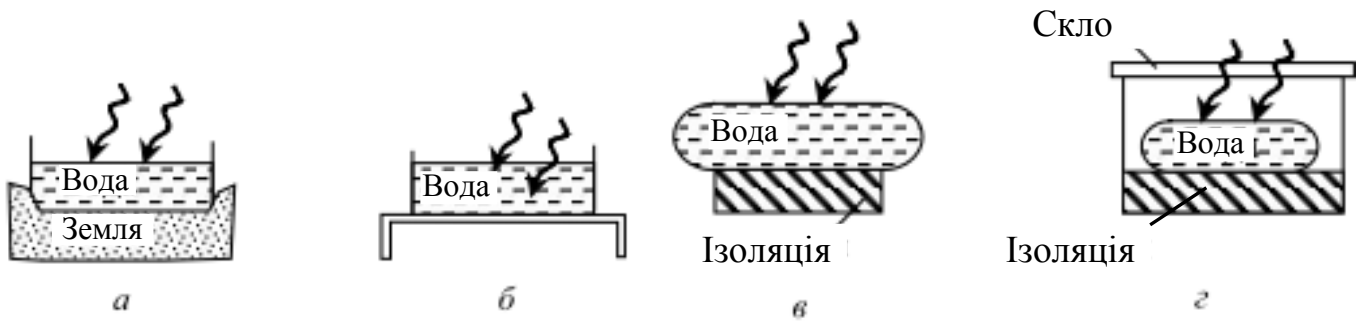


Рис. 3 Послідовність приймачів сонячного випромінювання за зростанням їх ефективності та вартості.

Прості геліоколектори діляться на такі види:

- відкритий резервуар на поверхні землі (рис. 3 а) - простий нагрівач води (наприклад, басейн). Підвищення температури води обмежено високим коефіцієнтом відбиття її поверхні, тепловіддачею до землі і повітря, витратою частини поглинутої теплоти на випаровування води;

- відкритий резервуар, ізольований від землі (рис. 3 б). Підвищення температури води обмежено високим коефіцієнтом відбиття поверхні води, тепловіддачею повітря (конвекцією і випромінюванням), тепловіддачею землі, витратою частини поглиненої теплоти на випаровування води;

- чорний резервуар з теплоізолюваним дном (рис. 3 в). Рідина міститься в ємності з чорною матовою поверхнею, зазвичай розташовується на даху будівлі. Втрати теплоти на випаровування відсутні, коефіцієнт поглинання чорною поверхнею близький до одиниці. Нагрівачі цього типу досить недорогі, прості у виготовленні і дозволяють нагрівати воду до температури близько 45°C . Дуже широке поширення набули в Японії, Ізраїлі. Параметри нагрівача обмежені тепловими втратами з поверхні, особливо їх збільшенням в вітряну погоду;

- закритий чорний геліоколектор (рис. 3 г). Для виключення тепловіддачі від приймача в повітря, особливо в вітряну погоду, ємність нагрівача розміщується в контейнері з прозорою для сонячного випромінювання кришкою. Більшість прозорих середовищ пропускають промені вибірково (селективно), тобто їх пропускання здатність залежить від довжини хвилі падаючого випромінювання. Кращим матері-

алом для кришок є скло, так як воно досить дешеве, має коефіцієнт пропускання випромінювання в діапазоні 0,5-1 мкм близько 0,85 і практично повністю відбиває випромінювання при довжині хвилі понад 5 мкм. Отже, скло добре пропускає сонячне випромінювання і практично не пропускає випромінювання поглинаючої панелі геліоколектора. Єдиним недоліком скла є крихкість, яка веде до його бою в результаті температурних деформацій каркасу геліоколектора до 5% на рік. Тому використовуються також контейнери для геліоколектора з пластика, що мають подібні склу оптичні властивості, але менш крихкі.

Основними елементами плоского проточного сонячного колектора (рис. 4) є: корпус, де розташована поглинаюча панель з каналами (мідні трубки) для теплоносія, на поверхню якої нанесене покриття, що забезпечує поглинання не менше 90% падаючого сонячного випромінювання; прозора теплоізоляція (захисне скло), яка знижує втрати в навколишнє середовище через верхню поверхню колектора; непрозора теплоізоляція, знижує втрати в навколишнє середовище через днище колектора і його бічні грані. У колекторі падаюче сонячне випромінювання перетворюється в теплоту, що відводиться потоком теплоносія (вода, антифриз, повітря та ін.), що протікає по каналах поглинаючої панелі. Прозора ізоляція знижує конвективні і променисті втрати теплоти від поглинаючої панелі в атмосферу, внаслідок чого зростає продуктивність колектора. ККД такого колектора становить близько 45-60%. Під дією сонячної радіації теплосприймаючі панелі розігріваються до температури 70-80 ° С, що перевищує температуру навколишнього середовища, і веде до зростання конвективної тепловіддачі панелі і її власного випромінювання в навколишнє середовище. ,

Плоскі сонячні колектори використовують в комунально-побутовій сфері для гарячого водопостачання та опалення житлових та громадських будівель (рис.5), в сільськогосподарському виробництві при переробці та зберіганні продукції, в технологічних процесах, що вимагають низьких температур (до 100 ° С), для підігріву води в плавальних басейнах. Оптимально підібране устаткування зменшує річне використання енергії для підігріву води на 50-60%.

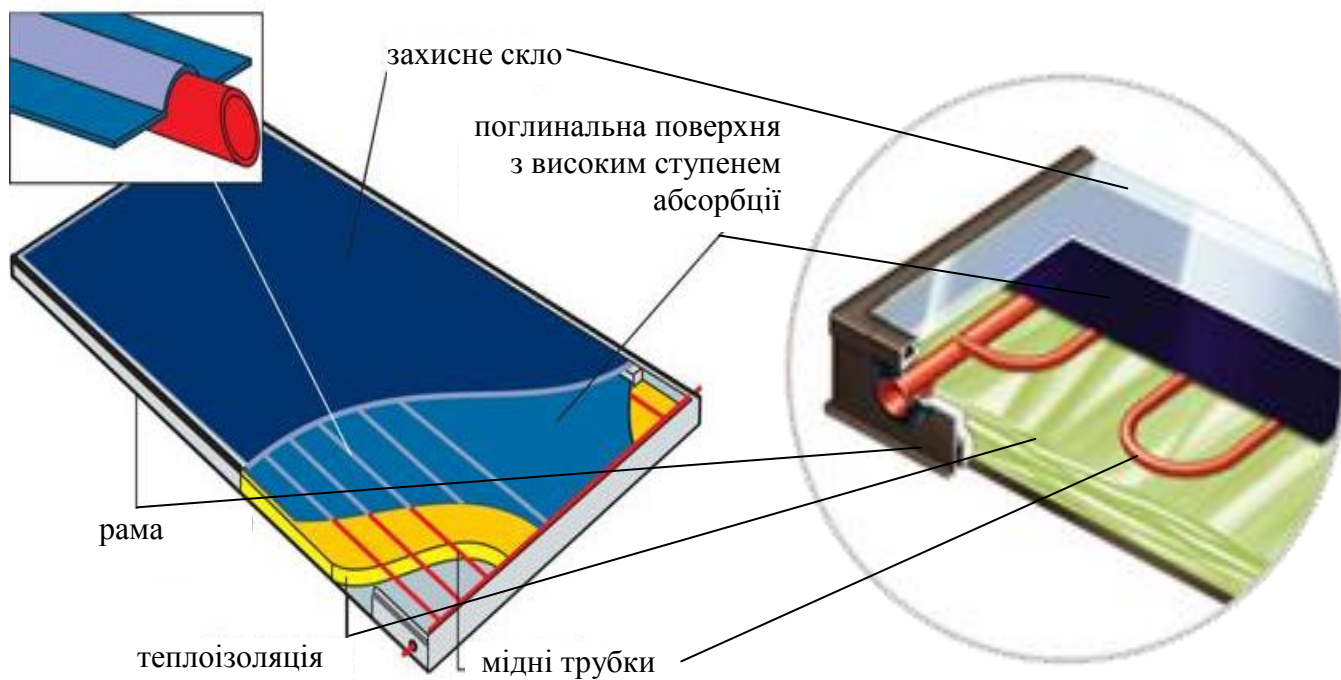


Рис. 4 Схема сонячного колектора.

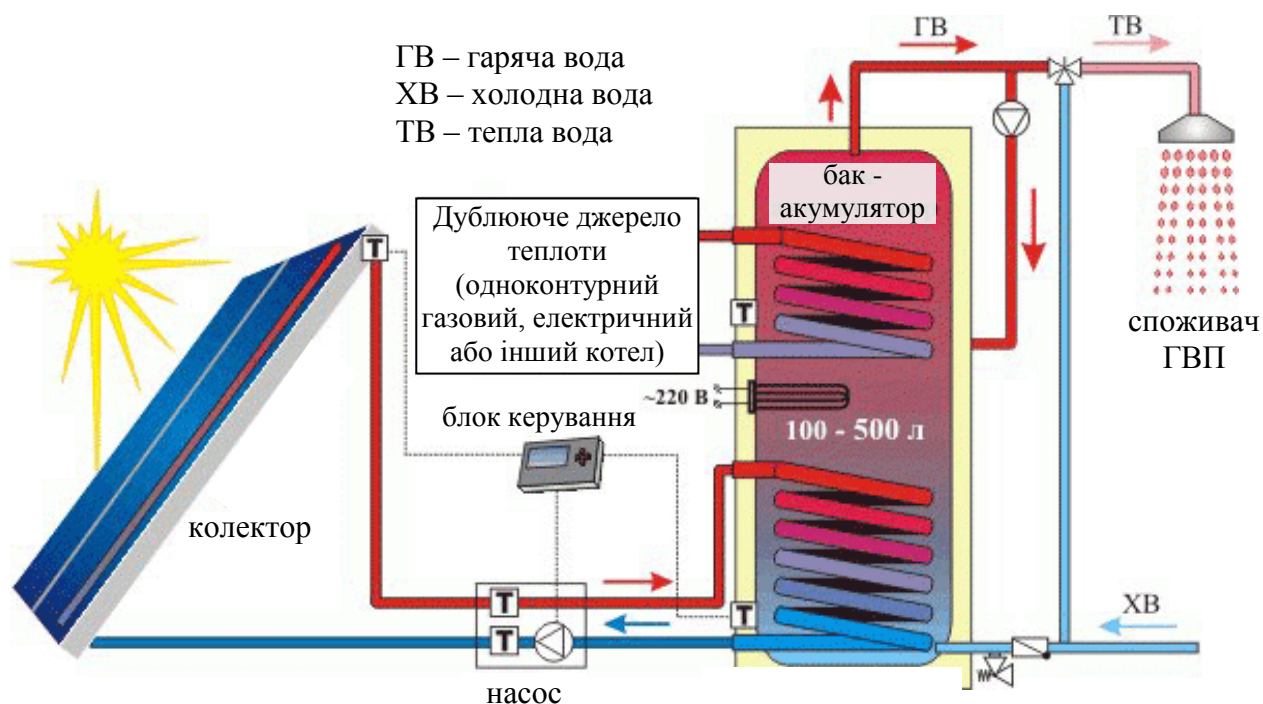


Рис. 5 Принципова схема двоконтурної сонячної установки для ГВП.

4.3 Ступінь заміщення палива

Сонячні установки опалення і ГВП будівель входять до складу комбінованих геліопаливних систем теплопостачання і забезпечують часткове покриття річного теплового навантаження.

Геліопаливна система теплопостачання включає в себе наступне основне обладнання: СК, акумулятор теплоти, теплообмінники, насоси або вентилятори, додаткове (резервне) джерело теплоти (паливне або електричне) і пристрої для управління роботою системи.

Внаслідок нестабільності надходження сонячної енергії системи сонячного опалення повинні працювати з дублером – резервним джерелом теплоти (котельня, тепломережа і т.п.). Як правило, потужність резервного (додаткового) джерела теплоти вибирається такою, щоб можна було покрити все розрахункове теплове навантаження, оскільки в зимові місяці геліоустановка має низьку продуктивність.

Сонячні установки сезонної дії можуть бути запроектовані без дублера, якщо не висуваються жорсткі вимоги щодо безперебійного постачання гарячої води, наприклад в літніх душових.

Геліосистеми рекомендується використовувати в основному в південних районах України для сезонних споживачів, при високій вартості палива, при середньорічній кількості сонячної радіації не менше 1000 кВт·год/м², що відповідає приблизно енергоємності 100 л дизельного палива або 100 м³ природного газу [5], при підвищених вимогах до чистоти оточуючого середовища, наприклад в курортних зонах.

При проектуванні систем теплопостачання з використанням сонячної енергії необхідно виходити з того, що економічно доцільно покривати за рахунок сонячної енергії лише певну частку річного теплового навантаження Q_H^{PIK} :

$$Q_C^{PIK} = f^{PIK} \cdot Q_H^{PIK},$$

де f^{PIK} - частка сонячної енергії в покритті теплового навантаження, а решта повинна забезпечуватися резервним (додатковим) джерелом енергії:

$$Q_D^{PIK} = (1 - f_{PIK}) \cdot Q_H^{PIK}.$$

Річне теплове навантаження на ГВП, ГДж/рік, визначається з рівняння:

$$Q_H^{PIK} = N \cdot \rho \cdot c_p (t_{ГВ} - t_{ХВ}) \cdot p \cdot n_{РОБ} \cdot 10^{-6},$$

де N – об'єм води, яку споживає один мешканець за добу, $м^3/\text{доба}$;

ρ – густина води, $кг/м^3$;

$t_{ГВ}, t_{ХВ}$ – температура гарячої і холодної води, $^{\circ}C$;

m – кількість мешканців будівлі;

$n_{РОБ}$ – кількість днів, які працює установка за рік, доба/рік .

Величина f^{PIK} залежить від характеристик геліосистеми і кліматичних даних, а також від вартості системи і палива, але зазвичай вона не перевищує 0,5, а для сезонних установок може досягати 0,75 і більше (за сезон).

Місячна частка сонячної енергії [3, 6] в покритті теплового навантаження теплопостачання або ступінь заміщення палива визначається як:

$$f^M = \frac{Q_C^M}{Q_H^M} = \frac{(Q_H^M - Q_D^M)}{Q_H^M} = 1 - \frac{Q_D^M}{Q_H^M},$$

де Q_H^M – місячна величина теплового навантаження;

Q_C^M і Q_D^M – місячні кількості теплоти, які забезпечуються сонячною установкою і додатковим джерелом енергії.

Річна частка сонячної енергії (ступінь заміщення палива) в покритті навантаження:

$$f^{PIK} = \frac{Q_C^{PIK}}{Q_H^{PIK}} = \frac{\sum_1^{12} Q_C^M}{\sum_1^{12} Q_H^M} = \frac{\sum_1^{12} f^M \cdot Q_H^M}{\sum_1^{12} Q_H^M}.$$

Річна економія палива, $кг$:

$$B^{PIK} = \frac{Q_C^{PIK}}{Q_H^P \cdot \eta_{ТГ}} = \frac{f^{PIK} \cdot Q_H^{PIK}}{Q_H^P \cdot \eta_{ТГ}} = \frac{\sum_1^{12} f^M \cdot Q_H^M}{Q_H^P \cdot \eta_{ТГ}},$$

Економія палива ($кг$) за розрахунковий період (сезон):

$$B^{CE3} = \frac{Q_C^{CE3}}{Q_H^P \cdot \eta_{TG}} = \frac{f^{CE3} \cdot Q_H}{Q_H^P \cdot \eta_{TG}} = \frac{\sum_1^i f^M \cdot Q_H^M}{Q_H^P \cdot \eta_{TG}},$$

де Q_H^P – нижча теплота згорання палива, ГДж/кг;

Q_C – кількість теплоти (ГДж), яку забезпечує сонячна установка за розрахунковий період;

Q_H – теплове навантаження на ГВП за розрахунковий період;

f^{CE3} – ступінь заміщення за розрахунковий період;

i – кількість місяців роботи колектора за сезон;

η_{TG} – ККД теплогенератора, рівний 0,45-0,6 для індивідуальних установок і 0,6-0,8 для котлів на твердому, рідкому і газоподібному паливі.

Необхідно відзначити, що поряд з економією палива при використанні сонячної енергії важливе значення мають також такі аспекти, як зменшення забруднення оточуючого середовища, збереження паливних ресурсів, покращення соціальних умов.

Сьогодні багато фірм-виробників пропонують колектори, забезпечені номограмами [7]. Вони дозволяють споживачу приблизно розрахувати площу необхідного колектора та об'єм бака-акумулятора з урахуванням складу його сім'ї і кількості споживаної води (рис.6).

4.4 Розрахунок систем сонячного теплопостачання

Для попереднього розрахунку СТС з використанням сонячної енергії можна рекомендувати графічний метод залежності ступеня заміщення (частки сонячної енергії в покритті теплового навантаження) f від безрозмірного параметра [3]:

$$\theta = \frac{E_K \cdot A}{Q_H}.$$

Залежності f від θ наведені на рис. 7. При побудові залежностей прийняті наступні припущення:

- в якості базового варіанту прийнятий плоский СК з двошаровим склінням $\eta_0=0,73$ і $K=4,6$ Вт/м²К, а $K/\eta_0=6,3$ Вт/м²К з оптимальним кутом нахилу СК β до горизонту і південною орієнтацією;
- питомий об'єм водяного акумулятора теплоти дорівнює 0,07 м³/м². При використанні СК з іншим співвідношенням K/η_0 , необхідно вносити відповідні поправки.

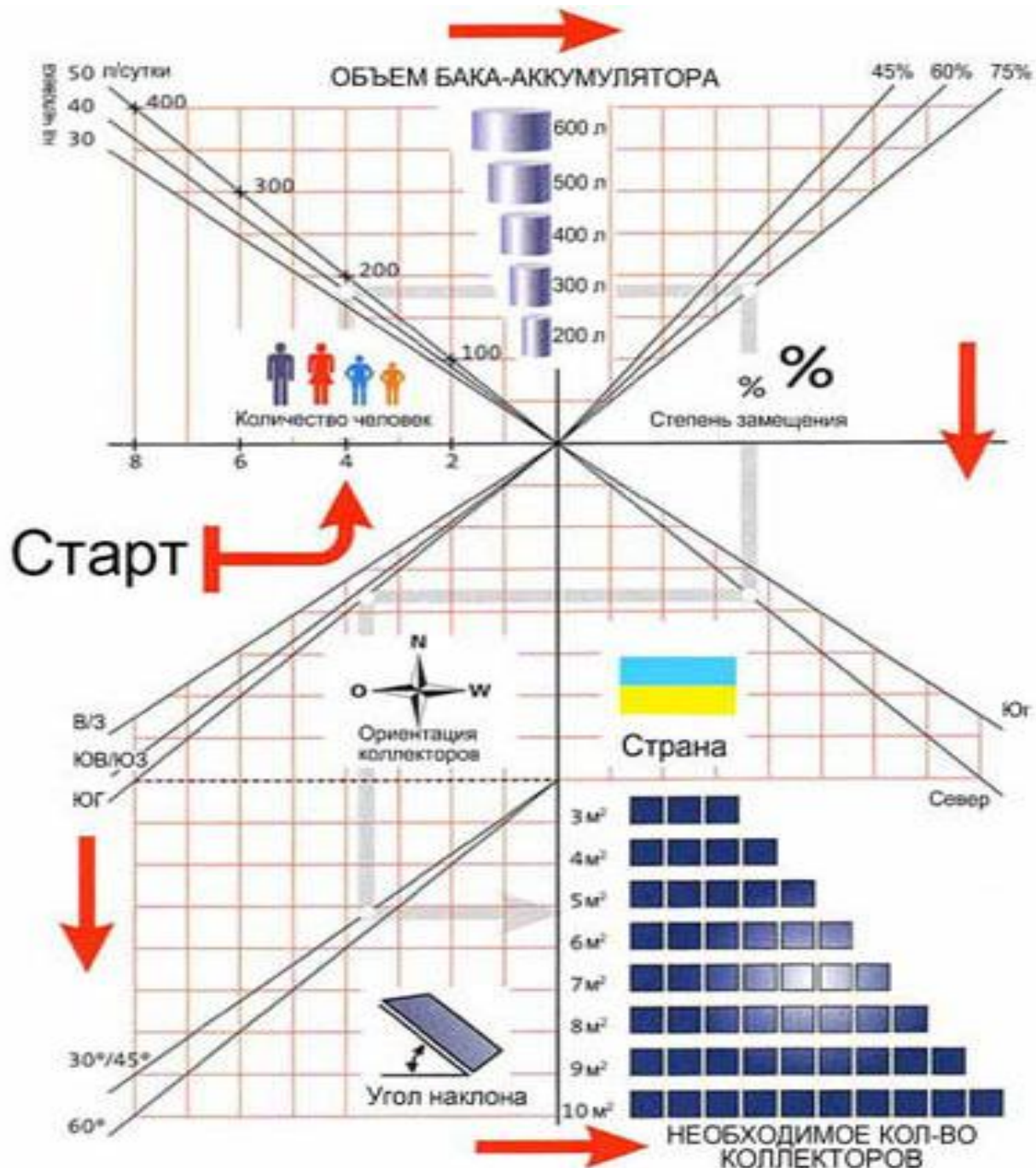


Рис. 6 Номограма фірми Sintsolar [7] для визначення площі СК та об'єму бака-акумулятора.

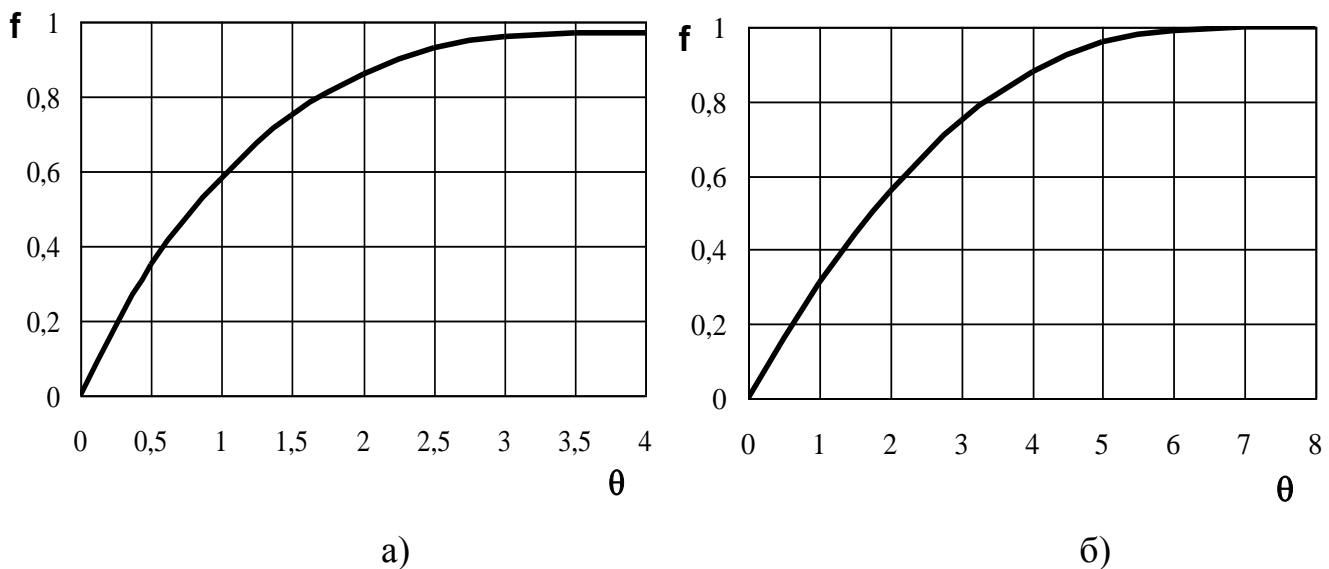


Рис.7 Залежності f від θ ,
а) ГВП; б) опалення.

Рекомендується приймати наступні орієнтовні значення коефіцієнта перерахунку кількості сонячної енергії з горизонтальної площини E (таблиця Д2) на поверхню СК з оптимальним кутом нахилу β до горизонту E_k :

$$E_k = E \cdot R,$$

де $R=1,4$ - для геліосистем опалення $\beta=(\varphi +15)$;

$R=1,05$ - для сезонних систем гарячого водопостачання $\beta=(\varphi -15)$;

$R=1,1$ - цілорічної дії $\beta=\varphi$;

φ – широта місцевості.

За допомогою цих залежностей можна визначити річне значення $f_{\text{РІК}}$ при заданій площі A поверхні СК, або навпаки – площу поверхні СК A , що забезпечує задане значення $f_{\text{РІК}}$.

Послідовність розв’язку першої задачі: при заданій площі A поверхні СК для розрахункового періоду (рік, сезон, місяць) визначаються значення Q_n і E_k , розраховується параметр θ і графічно знаходиться f . Потім обчислюються річні (місячні) кількості енергії, які покриваються сонячною установкою і додатковим джерелом енергії:

$$Q_c = f \cdot Q_H;$$

$$Q_d = (1-f) \cdot Q_H.$$

Обернена задача – визначення площі **A** поверхні СК. Для розрахункового періоду (рік, сезон, місяць) визначаються значення **Q_H** і **E_K**. За заданою часткою **f** графічно знаходиться **θ** і визначається **A** з рівняння:

$$A = \frac{\theta \cdot Q_H}{E_K}.$$

При цьому треба враховувати, що обчислення проводять для розрахункового періоду: для ГВП цілорічного або сезонної дії (1 рік або сезон), а для систем сонячного опалення – кожний місяць опалювального періоду.

4.5 Розрахунок економічної доцільності використання систем сонячного гарячого водопостачання

Сонячні колектори нагрівають воду практично безкоштовно за рахунок надходження сонячної енергії та мають низькі експлуатаційні витрати, у порівнянні з нагріванням води традиційним паливом чи електричною енергією (рис.8).

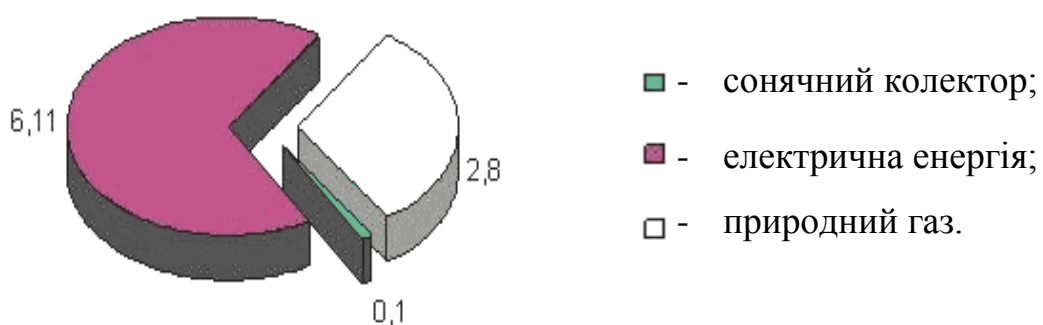


Рис.8 Порівняльна вартість нагрівання 1м³ води при використанні різних джерел енергії.

Економічну доцільність використання геліосистеми визначають при порівнянні базового варіанту гарячого водопостачання з використанням традиційних видів енергії і запропонованого на базі сонячного колектора.

При цьому розраховують:

1. Вартість сонячної установки з додатковим джерелом енергії:

$$\Gamma_{\text{ГС}} = \Gamma_{\text{СК}} + \Gamma_{\text{БА}} + \Gamma_{\text{ДО}} + \Gamma_{\text{Д}} + \Gamma_{\text{РОБ}},$$

де $\Gamma_{\text{СК}}$ - вартість сонячного колектора;

$\Gamma_{\text{БА}}$ - вартість бака - акумулятора;

$\Gamma_{\text{ДО}}$ - вартість додаткового обладнання для геліосистеми;

$\Gamma_{\text{Д}}$ - вартість додаткового джерела теплоти;

$\Gamma_{\text{РОБ}}$ - вартість роботи з монтажу і встановлення (20-30% від вартості основного обладнання).

2. Добова витрата енергії для нагрівання води у баку - акумуляторі в залежності від виду додаткового джерела:

- електроенергії при електричному нагрівачі, кВт·год:

$$W_{\text{ЕЛ}} = \frac{V_{\text{БА}} \cdot \rho \cdot c_p (t_{\text{ГВ}} - t_{\text{ХВ}})}{3600},$$

$V_{\text{БА}}$ - об'єм обраного бака - акумулятора,

- теплової енергії від централізованого теплопостачання чи за рахунок використання котла на традиційному паливі, ГДж:

$$W_{\text{ТЕП}} = V_{\text{БА}} \cdot \rho \cdot c_p (t_{\text{ГВ}} - t_{\text{ХВ}}) \cdot 10^{-6}.$$

3. Зекономлена сума оплати за енергоносії при використанні геліосистеми, грн.:

- за електроенергію:

$$\Gamma = W_{\text{ЕЛ}} \cdot C_{\text{ЕЛ}} \cdot n_{\text{РОБ}},$$

де $C_{\text{ЕЛ}}$ - діючий тариф на електроенергію, грн./кВт·год;

- за теплову енергію:

$$\Gamma = W_{\text{ТЕП}} \cdot C_{\text{ТЕП}} \cdot n_{\text{РОБ}},$$

де $C_{\text{ТЕП}}$ - діючий тариф на теплоту, грн./ГДж.

При спалюванні традиційного палива у додатковому джерелі вартість 1 ГДж теплоти визначають з рівняння:

$$C_{\text{ТЕП}} = \frac{\Gamma_{\text{ПАЛ}}}{Q_{\text{Н}}^{\text{Р}} \cdot \eta_{\text{ТГ}}},$$

де $\Gamma_{\text{ПАЛ}}$ – вартість одиниці палива, грн./кг.

4. Приблизний простий строк окупності геліосистеми складатиме:

$$\tau_{\text{ОК}} = \frac{\Gamma_{\text{ГС}}}{\Gamma - \Gamma_{\text{ВИТ}}},$$

де $\Gamma_{\text{ВИТ}}$ - різниця річних грошових витрат (заробітна плата, витрати на електроенергію на роботу насосів і автоматики, обслуговування, нормативні відрахування та ін.) геліосистеми та базового варіанта, грн.

Термін окупності сонячної установки повинен бути менше терміну служби сонячного колектора (25 років). У разі зміни (підвищення) тарифів на електроенергію або теплоту протягом терміну служби колектора строк окупності відповідно зменшиться.

4.6 Розрахунок зменшення шкідливих викидів при використанні СУ

Розрахунок зменшення шкідливих викидів за рахунок економії палива проводять за формулою:

$$M_i = c_i V,$$

де c_i – питомі викиди компонентів (табл. 1-2).

Таблиця 1

Питомі викиди шкідливих продуктів згоряння при факельному спалюванні органічного палива в енергетичних котлах [4]

Викиди	Природний газ, г/м ³	Мазут, кг/т	Вугілля, кг/т
Оксиди сірки SO _x (в перерахунку на SO ₂)	0,006 – 0,01	~ 21 · S ^P	(17–19) · S ^P
Оксиди азоту NO _x (в перерахунку на NO ₂)	5 – 11	5 – 14	4 – 14
Монооксид вуглецю CO	0,002 – 0,005	0,005 – 0,05	0,1 – 0,45
Вуглеводні	0,016	0,1	0,45 – 1,0
Водяна пара H ₂ O	1000	700	230 – 360
Диоксид вуглецю CO ₂	2000	~ 3000	2200 – 3000
Летюча зола та шлак	–	10 · A ^P	10 · A ^P

Примітка: S^P та A^P відповідно вміст сірки та золи на робочу масу палива, %

Таблиця 2

Питомі показники викидів в атмосферу шкідливих інгредієнтів у складі продуктів згоряння палива

Вид палива	Теплота згоряння палива	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	Органічні сполуки	SO ₂	Тверді частинки
	кДж /кг	г/кг	г/кг	г/кг	г/кг	г/кг	г/кг	г/кг	г/кг
Природний газ (на нм ³)	35640	1 880	0,17	0,003	1,68	1,68	0,17	незнач.	0,12
Зріджений пропан-бутан	47304	2 984	0,05	0,09	2,37	0,47	0,05	незнач.	0,13
Гас	44748	3 216	0,45	0,03	4,48	0,9	0,22	1	0,29
Легке нафтове пальне	45000	3 301	0,45	0,03	4,50	0,9	0,23	6	0,28
Мазут	40176	3 109	0,4	0,02	4,02	0,8	0,2	20	0,71
Вугілля	22500	2 211	0,23	0,03	2,25	45	0,11	16,2	5,45
Деревне паливо (20 % W)	15012	1 496	4,5	0,06	1,5	75	9	2,16	0,22

W – вологість палива, %

4.8 Висновки по роботі

За результатами розрахунків зробити висновки про енергетичну, екологічну та економічну доцільність використання сонячної системи гарячого водопостачання в даній місцевості.

5 ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ

І Визначення площі сонячного колектора для системи гарячого водопостачання будівлі.

1. Теплове навантаження (річне, сезонне), ГДж/рік (ГДж/сезон):

$$Q_H = N \cdot \rho \cdot c_p (t_{ГВ} - t_{ХВ}) \cdot m \cdot n_{РОБ} \cdot 10^{-6},$$

де $n_{РОБ}$ – кількість днів, в які працює установка протягом року (сезону), доба/рік (доба/сезон).

2. За таблицею Д2 знаходимо річне (сезонне) надходження сонячної енергії на горизонтальну поверхню. Для цього виписуємо значення середньомісячної денної сумарної сонячної енергії E по місяцях і помножуємо їх на кількість днів в місяці та заносимо до таблиці 3. Отримані значення підсумовуємо.

Таблиця 3

Надходження сонячної радіації			
Назва місяця	Число робочих днів в місяці	Сумарна сонячна енергія	
		середньомісячна денна	середня місячна
		МДж/(м ² день)	МДж/м ²
Січень	31		
Лютий	28		
Березень	31		
Квітень	30		
Травень	31		
Червень	30		
Липень	31		
Серпень	31		
Вересень	30		
Жовтень	31		
Листопад	30		
Грудень	31		
Всього		МДж/м ²	
		ГДж/м ²	

3. Визначаємо річний потік сумарної сонячної енергії на площину СК встановленого під оптимальним кутом β з урахуванням коефіцієнту перерахунку сонячної радіації з горизонтальної поверхні на похилу поверхню, ГДж/м².

$$E_k = E \cdot R,$$

де $R=1,05$ - для сезонних систем гарячого водопостачання $\beta = (\varphi - 15)$;

$R=1,1$ - цілорічної дії гарячого водопостачання $\beta = \varphi$;

φ – широта місцевості.

4. Знаходимо значення безрозмірного параметра θ при заданому f за рис.7а.

5. Розраховуємо площу A поверхні СК:

$$A = \frac{\theta \cdot Q_H}{E_k}.$$

6. Розрахунковий об'єм V_{BA} водяного бака - акумулятора теплоти знаходимо з залежності, m^3 :

$$V_{BA} = 0,07 \cdot A.$$

7. Обчислюємо річну (сезонну) економію палива, кг:

$$B = \frac{f \cdot Q_H}{Q_H^p \cdot \eta_{TG}}.$$

8. Визначення площі поверхні СК та об'єму бака - акумулятора за номограмою фірми Sintsolar (рис. 6) при заданих параметрах.

II Розрахунок строку окупності геліосистеми з баком - акумулятором та дублюючим джерелом теплоти.

В базовому варіанті гаряче водопостачання будинку забезпечується за допомогою електричного об'ємного водонагрівача (електричний бойлер). Пропонується встановити для гарячого водопостачання геліосистему з дублюючим електричним нагрівачем (ТЕН) у баку-акумуляторі.

1. Визначення вартості установки.

За відомими значеннями поверхні сонячного колектора A та об'ємом баку - акумулятора V_{BA} обираємо в Інтернеті фірму виробника обладнання геліосистем та визначаємо кількість СК.

Вартість основних комплектуючих заносимо до таблиці 4 і визначаємо вар-

тість геліосистеми:

$$\Gamma_{\text{ГС}} = \Gamma_{\text{СК}} + \Gamma_{\text{БА}} + \Gamma_{\text{ДО}} + \Gamma_{\text{РОБ}}.$$

При обраній схемі геліосистеми вартість бака - акумулятора враховує ціну вмонтованого додаткового джерела теплоти.

Таблиця 4

Найменування	Позначення	Ціна, грн	Кількість, шт.	Сума, грн
Колектор*	$\Gamma_{\text{СК}}$			
Бак – акумулятор**	$\Gamma_{\text{БА}}$			
Додаткове обладнання для геліосистеми	$\Gamma_{\text{ДО}}$			
Роботи з монтажу і встановлення	$\Gamma_{\text{РОБ}}$			
Вартість геліосистеми	$\Gamma_{\text{ГС}}$	—		

*Зазначається фірма виробник, назва колектора, його маркування і площа.

**Зазначається фірма виробник, маркування і об'єм.

2. Визначення терміну окупності.

Розрахуємо добову витрату електроенергії для нагрівання води у баку – акумуляторі, кВт·год:

$$W_{\text{ЕЛ}} = \frac{V_{\text{БА}} \cdot \rho \cdot c_p (t_{\text{ГВ}} - t_{\text{ХВ}})}{3600}.$$

Річна (сезонна) зекономлена сума оплати за електроенергію при використанні геліосистеми, грн.:

$$\Gamma = W_{\text{ЕЛ}} \cdot C_{\text{ЕЛ}} \cdot n_{\text{РОБ}}.$$

При визначенні строку окупності треба врахувати, що в базовому варіанті ГВП забезпечує електричний бойлер, тому від вартості сонячної геліосистеми віднімають вартість бака - акумулятора. А річні грошові витрати на обслуговування, відрахування та ін. геліосистеми та базового варіанта приблизно однакові.

Приблизний простий строк окупності геліоустановки:

$$\tau_{\text{ОК}} = \frac{\Gamma_{\text{ГС}} - \Gamma_{\text{БА}}}{\Gamma}.$$

ІІІ Розрахунок зменшення шкідливих викидів при використанні СУ

Розрахунок зменшення шкідливих викидів за рахунок економії палива проводять за формулою підрозділу 4.6 з урахуванням виду палива, яке заміщується, та його витрати. Результати оформлюються у вигляді таблиці.

Список рекомендованої літератури

1. Н.М. Мхитарян. Гелиоэнергетика. К.: Наукова думка, 2002.- 350 с. – К., 2014.- 28с.
2. У. Бекман, С. Клейн, Дж. Даффи. Расчет систем солнечного теплоснабжения. – М.: Энергоиздат, 1982. – 80 с.
3. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки.– М.: Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.
4. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : курс лекций для студентов специальности «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» / А. Б. Сухоцкий, В. Н. Фарафонов. – Минск : БГТУ, 2009. – 246 с.
5. Амерханов Р.А., Богдан А.В., Вербицкая С.В., Гарькавый К.А. Проектирование систем энергообеспечения: учебник для студентов вузов по направлению «Агроинженерия» / Под ред. Р.А. Амерханова. – 2 е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2010. – 548 с.
6. В.В. Дубровська, В.І. Шкляр, Є.О. Северин. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Випробування сонячного колектора» – К, «Політехніка», 2014. – 28 с.
7. [www. Sintsolar. com. ua](http://www.Sintsolar.com.ua).

ДОДАТКИ

Таблиця Д1

Вихідні данні до домашньої контрольної роботи

Варіант	Місто	Період	m	V _{гв}	t _{гв}	t _{хв}	η _{тг}	f	Вид палива	Q ^p _н
		міс.	чол.	л/доба	°C	°C				МДж/кг (МДж/нм ³)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Донецьк	III-X	5	50	49	14	0,65	0,6	вугілля	18,70
2	Житомир	III-X	4	75	48	13	0,7	0,6	прир. газ	36,34
3	Запоріжжя	III-XI	6	100	47	15	0,75	0,65	мазут	37,05
4	Івано-Франківськ	III-XI	8	50	46	14	0,8	0,7	вугілля	20,03
5	Тернопіль	IV-XI	8	50	45	12	0,6	0,75	прир. газ	36,27
6	Ужгород	III-XI	7	75	50	11	0,65	0,62	мазут	36,69
7	Харків	III-IX	5	100	49	14	0,7	0,75	вугілля	21,53
8	Херсон	II-XI	4	50	48	13	0,75	0,55	прир. газ	31,08
9	Хмельницький	III-X	6	75	47	15	0,8	0,6	мазут	37,72
10	Черкаси	III-X	8	100	46	15	0,6	0,6	вугілля	18,03
11	Чернігів	IV-IX	7	50	45	10	0,65	0,75	прир. газ	35,84
12	Одеса	II-XI	6	50	50	11	0,7	0,55	мазут	36,84
13	Полтава	III-X	8	75	49	12	0,75	0,6	вугілля	18,52
14	Рівне	III-X	7	100	48	14	0,8	0,58	прир. газ	35,51
15	Севастополь	I-XII	5	50	47	13	0,6	0,49	мазут	37,39
16	Сімферополь	I-XI	4	75	46	15	0,65	0,52	вугілля	16,81
17	Суми	IV-IX	6	100	45	14	0,7	0,76	прир. газ	37,77
18	Чернівці	III-X	5	75	50	10	0,75	0,6	мазут	36,63
19	Ялта	I-XII	4	100	49	11	0,8	0,45	вугілля	19,97
20	Бердянськ	I-XI	6	50	48	12	0,6	0,48	прир. газ	37,76
21	Вінниця	III-XI	8	75	47	14	0,65	0,56	мазут	37,43
22	Ізмаїл	II-XII	7	75	46	13	0,7	0,52	вугілля	20,81
23	Керч	II-XII	5	100	45	15	0,75	0,51	прир. газ	36,74
24	Феодосія	I-XII	4	80	50	14	0,8	0,48	мазут	37,04
25	Кіровоград	III-XI	6	75	49	9	0,6	0,58	вугілля	18,71
26	Луганськ	III-XI	8	100	55	11	0,8	0,57	прир. газ	37,50
27	Луцьк	III-X	7	50	50	10	0,75	0,62	мазут	38,92
28	Львів	IV-X	5	75	49	11	0,8	0,78	вугілля	19,52
29	Маріуполь	II-XI	4	100	48	12	0,6	0,54	прир. газ	37,04
30	Київ	IV-IX	4	50	47	14	0,65	0,8	мазут	37,04

Таблиця Д2.

Населений пункт	Широта	Довгота	Середньомісячна денна сумарна сонячна енергія (МДж / (м ² · день). Середній показник за останні 22 роки (за даними NASA)												Середнє місячне значення
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Вінниця	49,23	28,49	3,85	6,80	10,58	14,11	18,68	19,08	18,58	16,85	11,56	7,09	3,96	3,24	11,20
Дніпропетровськ	48,43	35,13	4,36	7,16	10,73	14,58	19,98	20,05	20,52	18,29	13,18	8,17	4,32	3,46	12,06
Донецьк	47,95	37,82	4,50	7,34	10,55	14,80	20,05	20,59	20,99	18,65	13,75	8,46	4,54	3,56	12,31
Житомир	50,26	28,67	3,64	6,55	10,33	13,97	18,58	18,68	18,14	16,78	11,02	6,73	3,74	2,99	10,94
Запоріжжя	47,85	35,16	4,36	7,56	10,48	15,12	20,23	20,59	21,17	18,65	13,93	8,78	4,50	3,42	12,38
Івано-Франківськ	48,91	24,71	4,28	6,95	10,22	13,25	16,34	17,10	17,14	15,84	11,02	7,20	4,32	3,38	10,58
Київ	50,43	30,54	3,85	6,73	10,62	14,26	18,90	18,79	18,90	16,81	11,23	6,98	3,67	3,10	11,16
Кіровоград	48,51	32,25	4,32	7,02	10,66	14,65	19,69	19,76	20,05	17,71	12,85	8,06	4,10	3,46	11,88
Луганськ	48,57	39,35	4,43	7,42	10,98	14,58	19,66	20,05	20,34	17,96	13,03	8,03	4,54	3,35	12,02
Луцьк	50,76	25,35	3,67	6,37	10,19	14,08	18,18	18,29	17,78	16,38	10,84	6,59	3,78	2,84	10,76
Львів	49,84	24,01	3,92	6,70	10,26	13,86	17,42	18,00	17,75	16,24	11,09	6,88	3,92	3,06	10,76
Миколаїв	46,95	32,02	4,68	7,67	11,09	15,70	20,45	20,74	21,60	19,04	14,40	9,25	4,90	3,74	12,78
Одеса	46,47	30,73	4,50	7,56	11,05	15,77	20,34	21,06	21,71	19,22	14,15	9,07	4,90	3,74	12,74
Полтава	49,59	34,54	4,25	7,06	10,98	14,40	19,44	19,58	19,84	17,53	12,31	7,60	4,14	3,28	11,70

Продовження таблиці Д2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Рівне	50,61	26,25	3,64	6,52	10,19	13,93	18,29	18,61	17,93	16,49	10,87	6,73	3,74	2,92	10,84
Севастополь	44,61	33,54	4,36	7,34	11,56	17,42	22,64	25,38	26,14	22,54	16,52	10,4	5,51	3,64	14,47
Сімферополь	44,95	34,11	4,57	7,42	10,98	15,48	19,58	21,02	22,32	19,22	14,65	9,61	5,58	3,85	12,85
Суми	50,48	34,97	4,07	6,95	10,98	14,33	18,97	19,15	19,37	16,81	11,48	7,13	3,96	3,10	11,38
Тернопіль	49,56	25,60	3,92	6,70	10,26	13,86	17,42	18,00	17,75	16,24	11,09	6,88	3,92	3,06	10,76
Ужгород	48,62	22,29	3,92	6,70	10,26	13,86	17,42	18,00	17,75	16,24	11,09	6,88	3,92	3,06	10,76
Харків	49,99	36,25	4,28	7,27	10,98	14,11	19,37	19,66	20,02	17,57	12,56	7,56	4,28	3,24	11,74
Херсон	46,69	32,66	4,68	7,67	11,09	15,70	20,45	20,74	21,60	19,04	14,40	9,25	4,90	3,74	12,78
Хмельницький	49,39	26,80	5,72	8,60	12,02	15,73	19,84	21,92	22,18	19,87	15,19	9,79	5,94	4,50	13,43
Черкаси	49,57	23,91	3,89	6,59	10,15	13,61	16,81	17,39	17,39	16,02	10,80	6,66	3,82	2,99	10,51
Чернігів	51,49	31,30	3,56	6,48	10,51	14,26	18,61	18,68	18,43	16,34	10,80	6,70	3,53	2,70	10,87
Чернівці	48,29	25,94	4,28	6,95	10,22	13,25	16,34	17,10	17,14	15,84	11,02	7,20	4,32	3,38	10,58
Ялта	44,26	34,19	4,57	7,42	10,98	15,48	19,58	21,02	22,32	19,22	14,65	9,61	5,58	3,85	12,85